

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

## **Výbušnost práškových barev v lakovacích kabinách**

*Autoreferát doktorské disertační práce*

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Autor:</b>            | <b>Ing. Eva Veličková</b>                            |
| <b>Školitel:</b>         | <b>doc. Ing. Petr Štroch, Ph.D.</b>                  |
| <b>Studijní program:</b> | <b>P3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost</b> |
| <b>Studijní obor:</b>    | <b>Požární ochrana a bezpečnost</b>                  |

**Ostrava, březen 2016**

## **Abstrakt**

VELIČKOVÁ, E.: *Výbušnost práškových barev v lakovacích kabinách*, VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Ostrava: Katedra bezpečnosti práce a procesů, 2016. 91 s. Disertační práce.

Tato disertační práce se zabývá problematikou výbušnosti práškových barev v lakovacích kabinách. Práce se skládá z části teoretické a experimentální. Výchozím bodem celé disertační práce je platná evropská legislativa, která byla implementována také do české legislativy. Z ní vyplývají pro toto práci dva důležité body, a sice, že povinností zaměstnavatele je provádět analýzu rizik a že v provozovnách práškových lakoven musí být k dispozici požárně-technické charakteristiky, neboť při lakování práškovými barvami se jedná o činnost se zvýšeným požárním nebezpečím. Poté bylo prověřeno, zda jsou tyto PTCH k dispozici v jednotlivých provozovnách. Pro vyhodnocení situace byl proveden podrobný soupis, kdy bylo zjištěno, že hodnoty PTCH, které mají provozovatelé k dispozici, se mnohdy lišily od hodnot dohledatelných v odborné literatuře. Proto byla provedena experimentální stanovení PTCH co nejširšího spektra vzorků barev s odlišnými vlastnostmi, chemickým složením nebo zrnitostí. Výsledky měření jsou důležitým podkladem pro správné stanovení bezpečnostních opatření. Z těchto výsledků se také vycházelo při zpracování metodiky pro stanovení rizik v lakovacích kabinách. Aby byly splněny všechny zákonné požadavky, vychází metodika z platných norem, na které odkazuje jak česká tak evropská legislativa. Tato metodika je doplněná počítačovým programem pro jednoznačné určení všech rizik, které se mohou v lakovacích kabinách vyskytovat. Společně se stanoveným rizikem je zároveň proveden i návrh na odstranění daného rizika. Tato metodika společně s vytvořeným softwarem představuje účinný nástroj pro řízení rizik jak již na úrovni výrobní, tak provozní, eventuálně kontrolní.

## **Klíčová slova**

Prášková lakovací kabina; požárně-technické charakteristiky; harmonizované normy; riziko; výbušnost (výbuch); bezpečnostní opatření.

## **Abstract**

VELIČKOVÁ, E.: *Explosiveness of powder coatings in paint booths*, VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, Ostrava: Department of Occupational Safety and Processes, 2016. 91 pp. Dissertation thesis.

This dissertation thesis deals with the issue of explosiveness of powder coatings in paint booths. The work consists of the theoretical and the experimental part. The starting point of the dissertation thesis is the current European legislation, which was also implemented into the Czech legislation. Two important points can be drawn from it, namely, that the employer's duty is to perform a risk analysis and that on the premises of powder paint shops fire-technical characteristics must be available, because the powder coating is an activity with increased fire risk. It was then examined whether these fire-technical characteristics are available in the individual workshops. To evaluate the situation, a detailed inventory was carried out, and it was found that the values of fire-technical characteristics available for the operators are often different from the values stated in the professional resources. Therefore, fire-technical characteristics were determined experimentally for the widest spectrum of colour samples with different properties, chemical composition and grain size. The measurement results are an important basis for determining the proper security measures. Processing the methodology for determining risks in paint booths was also based on these results. In order to meet all legal requirements, the methodology complies with all the applicable standards referred to by both the Czech and European legislation. This methodology is supplemented with a computer program for the unambiguous identification of all risks which may occur in paint booths. Besides determining the risk, a proposal to eliminate the given risk is made at the same time. This methodology, along with the developed software, is an effective tool for risk management both at the production, operation, and possibly control level.

## **Key words**

A powder coating booth; fire-technical characteristics; harmonized standards; risk; explosiveness (explosion); security measures.

## **Předmluva (Motivace)**

Motivací pro zpracování disertační práce byla moje potřeba získávat nové znalosti a dovednosti v oblasti bezpečnostního inženýrství. Důvodem řešení této problematiky je skutečnost, že význam bezpečnosti neustále roste a s ohledem na to je třeba neustále nacházet stále účinnější nástroje pro její zajištění. Protože jedna práce nemůže obsáhnout celou problematiku bezpečnosti, zaměřila jsem se na oblast práškových lakoven, a sice na problematiku prevence výbuchů v těchto zařízeních. Po zjištění situace v těchto zařízeních byla vypracována metodika pro stanovení rizik, která má přispět k zajištění vyšší bezpečnosti v práškových lakovnách.

## **Poděkování**

Děkuji za poskytnutou podporu při studiu a realizaci této práce své rodině, svému školiteli docentu Petru Štrochovi i všem, kteří se jakýmkoli způsobem podíleli na její realizaci. Práce mohla vzniknout díky finanční podpoře SGS číslo SP2013/28 pod názvem ***Výbušnost práškových barev v lakovacích kabinách*** a díky ***Rámcové smlouvě o dlouhodobé spolupráci mezi VŠB - TUO a VVUÚ*** v oblasti výzkumu a vývoje bezpečnostních prvků požárních a výbuchových systémů v průmyslu.

## Obsah

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Úvod .....  | 1  |
| 2   | Cíle práce .....  | 3  |
| 3.  | Proces nanášení práškových barev .....  | 5  |
| 3.1 | Práškové barvy .....  | 5  |
| 3.2 | Lakovací kabiny .....   | 5  |
| 3.3 | Proces elektrostatického nanášení práškových barev .....  | 5  |
| 4.  | Popis zkoumaných vzorků barev a provedených zkoušek .....   | 7  |
| 5.  | Výsledky zkoušek .....  | 8  |
| 5.1 | Síťová analýza (střední velikost zrna) .....  | 8  |
| 5.2 | Základní chemický rozbor .....  | 8  |
| 5.3 | Minimální zápalná energie .....   | 9  |
| 5.4 | Maximální výbuchový tlak $p_{\max}$ , maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku<br>( $dp/dt$ ) $_{\max}$ rozvířeného prachu, konstanta výbušnosti $K_{St}$ ..... | 10 |
| 5.5 | Dolní mez výbušnosti LEL .....  | 10 |
| 6.  | Porovnání naměřených hodnot s hodnotami používanými v praxi .....   | 12 |
| 7.  | Metodika pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev<br>v lakovacích kabinách .....  | 13 |
| 7.1 | Postup pro vyhodnocování přítomnosti rizik .....  | 14 |
| 7.2 | Software pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev<br>v lakovacích kabinách .....  | 15 |
| 7.3 | Ověření metodiky .....  | 15 |
|     | Závěr .....   | 17 |
|     | Použitá literatura .....  | 19 |
|     | Seznam vlastních prací autorky vztahující se k tématu disertace .....   | 22 |

## 1 Úvod

Bezpečnost a ochrana zdraví (dále jen BOZP) je významným prvkem sociální politiky ČR i EU. Stále se vyskytuje absence ekonomických i jiných nástrojů, které by podmiňovaly lepší uplatňování požadavků BOZP v praxi. Nedostatečná je také informovanost o požadavcích BOZP na pracovištích a o případných negativních dopadech při jejich zanedbávání a důsledkem toho je nedostatečné uplatňování komplexních preventivních opatření. Proto je nutné mít k dispozici efektivní nástroje a postupy pro předcházení rizikům. Povinností jak výrobců strojů i strojních zařízení, tak i zaměstnavatele je vyhledávat rizika, zjišťovat příčiny těchto rizik a přijmout opatření k jejich odstranění.

Problematika BOZP a prevence rizik je hodně rozsáhlá a proto je tato práce věnována pouze jedné části a to nebezpečí výbuchu v práškových lakovacích kabinách. Exploze průmyslových prachů představuje značné potenciální nebezpečí, protože během velmi krátké doby může dojít vlivem vysoké teploty a vzniku tlakové vlny nejen k velkým materiálním škodám, ale i k ohrožení zdraví a životů.

V práškových lakovnách existuje vysoká pravděpodobnost vzniku výbuchu. Nejčastějším důvodem vzniku výbuchu v uvedených prostorách jsou vznětlivé a výbušné lakovací materiály, které mohou vytvořit výbušnou atmosféru při usazování nanášených barev v kabině, filtrech nebo cyklonech, elektrické napětí na stříkacích pistolích a také špatné uzemnění jak samotného zařízení lakovacích kabin, tak lakovaných produktů.

Za posledních 5 let bylo v České republice minimálně 20 požárů v lakovnách, které vznikly z nejrůznějších příčin. Podobná situace je i v ostatních zemích. Např. v sousedním Německu došlo v lakovnách za poslední 3 roky k cca 10 požárům. Nejznámější je v poslední době požár práškové barvy ve firmě Ronal ve Starých Čivcích. Dne 18. 12. 2009 vznikl požár na lakovacím zařízení a vznítila se prášková barva. Dne 2. 11. 2011 vznikl další požár v prostoru lakovacího boxu a rozšířil se do odsávání a technologií ventilace v lakovně ve Vizovicích. Dne 2. 12. 2005 došlo k požáru lakovny v Loučce. Požár zasáhl technologie odsávání lakovny a poškodil ventilační techniku, filtry a těsnící manžety. Příčinou vzniku požáru byla technická závada na ventilátoru odsávacího zařízení. Co se týká sousedního Německa, tak tam došlo 17. 7. 2012 k požáru v lakovací kabině v Pfungstadtu.

Nebezpečí výbuchu prachu je velmi pravděpodobné ve všech zařízeních, kde se vyskytuje hořlavý prach, a to hlavně při najíždění, odstavování nebo při poruchových stavech. Podmínky pro vznik rizika výbuchu se u prachovzdušných směsí vyskytují trvale, protože dochází k neustálému kontaktu hořlaviny ve formě prachu s okysličovadlem ve formě vzduchu, přičemž není vyloučen vznik výbušné koncentrace. Hořlavý prach se navíc může vyskytovat jak v sedimentovaném, tak v rozvířeném stavu, přičemž chování prachů je potom odlišné.

S rozvojem vědy a techniky vznikají stále nové a modernější technologie a také materiály, které mají odlišné vlastnosti než měly materiály používané v dřívější době. S ohledem na to potom nemusí platit bezpečnostní standarty, které byly stanoveny pro zajištění dostatečné míry bezpečnosti, těchto nových zařízení nebo také nově používaných a zpracovávaných materiálů. Proto je nutné prověřit, zda v současné době používané bezpečnostní opatření zaručují dostatečnou ochranu života a zdraví pracovníků a také ochranu majetku a životního prostředí.

Pro správné stanovení rizik s ohledem na nebezpečí vzniku výbuchu je důležité mimo jiné znát i požárně bezpečnostní parametry používaných práškových barev. Vzhledem k nepřesnému uvádění těchto charakteristik v různých zdrojích, je provedeno experimentální ověření těchto hodnot v akreditované laboratoři VVUÚ a.s. v Ostravě - Radvanicích.

## 2 Cíle práce

Výbuchy představují ohrožení bezpečnosti osob stejně jako materiálové ztráty a v neposlední řadě také ohrožení životního prostředí. Řešení této problematiky je důležité, protože význam bezpečnosti při jakékoliv činnosti sehrává stále větší roli. Je třeba neustále vyhledávat rizika, analyzovat je a provádět opatření k jejich odstranění nebo alespoň k minimalizaci případných škod. Přesto je v některých podnicích úroveň BOZP na velmi nízké úrovni, třebaže jsou základní povinnosti zaměstnavatele v této oblasti uvedeny v zákoníku práce.

Práce má několik dílčích cílů:

- Stanovení **požárně technických charakteristik** (PTCH) vybraných práškových barev. Výběr barev je proveden na základě průzkumu ve vybraných práškových lakovnách a výrobnách práškových barev. Výběr vychází z kritérií:
  - četnost používání práškové barvy
  - dodávané množství barvy
  - údaje v bezpečnostních listech, u kterých se předpokládá, že neodpovídají skutečnosti

U vybraných nejčastěji používaných práškových barev budou stanoveny dolní mez výbušnosti **LEL**, maximální výbuchový tlak  $p_{\max}$ , maximální rychlost nárůstu tlaku  $(pd/dt)_{\max}$  a konstanta  $K_{St}$  a dále také minimální zápalná energie **MIE**.

- Porovnání naměřených hodnot PTCH se skutečným stavem vyskytujícím se v praxi.
- Vytvoření návrhu metodiky pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách a následně návrh protivýbuchových opatření u těchto kabin. S ohledem na téma práce se bude jednat pouze o rizika výbuchu, která mohou nastat v procesu nanášení barvy na výrobek v lakovací kabině a za stavu případné poruchy, nebudou uvažována rizika, která nesouvisí s procesem lakování. Stejně tak navrhovaná opatření povedou k odstranění nebo eliminaci rizika výbuchu v práškových lakovacích kabinách, která souvisí s procesem lakování.

Disertační práce obsahuje dvě části:

### 1) Teoretická část

Při řešení dané problematiky je nutné vyjít z platné legislativy. Důležitá je i znalost chování prachovzdušných směsí ve výbušném prostředí a procesu nanášení práškových barev na výrobek. Samozřejmostí byla i konzultace s významnými výrobci práškových barev.

### 2) Experimentální část

„Prohlídka“ různých typů práškových lakovacích kabin.

Měření vybraných výbuchových charakteristik – popis provedených zkoušek a výsledky jednotlivých měření.

Bezpečnostní listy – údaje o výbuchových charakteristikách z vybraných bezpečnostních listů různých výrobců barev i barev různého chemického složení a porovnání těchto údajů s naměřenými údaji a vyhodnocení stavu.



Návrh metodiky pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev a vytvoření počítačového programu pro stanovení těchto rizik s návrhem na jejich odstranění.

### **3. Proces nanášení práškových barev**

Principem lakování práškovými barvami je jejich nanesení na povrch výrobku, který je předehřátý nebo se barva následně vytvrzuje v peci. Pro aplikaci barvy se využívá stlačený vzduch a pro lepší přilnutí je barva elektrostaticky nabíjena. Přebytečné množství barvy, které se na výrobku neusadí, je odsáváno.

#### **3.1 Práškové barvy**

Práškové barvy se řadí do skupiny tzv. průmyslových nátěrových hmot, jsou to jemně dispergované částice syntetických pryskyřic, případně polymerů, pigmentů, plniv a aditiv, které v průběhu skladování za vhodných podmínek zůstávají jemně dispergované. Prášková barva na základě svých fyzikálně – chemických vlastností patří ke koloidním a disperzním soustavám, pro které je jednou z určujících charakteristik lineární rozměr částic.

Prášková barva se pro aplikaci ničím neředí, ani se v žádné tekutině nerozpouští. Nanáší se v práškové podobě pomocí stlačeného vzduchu, který po smísení s práškem vytváří směs, která se chová jako tekuté směsi. U technologií s možností recirkulace prášku v aplikačním zařízení je odpad z aplikace minimální, zbylou práškovou barvu (odpad z přestřiku) lze za určitých podmínek regenerovat a poté opět použít.

#### **3.2 Lakovací kabiny**

Prášková stříkácká kabina je sestava vzájemně propojených částí, mezi které patří:

- vlastní stříkácká kabina (box)
- stříkácké zařízení
- nucené větrání s jedním nebo více ventilátory
- systém pro filtrování vzduchu a systém pro odlučování práškových nátěrových hmot
- systém recyklace práškových nátěrových hmot, měřicí a ovládací přístroje (např. blokování nuceného větrání a stříkáckého zařízení)
- detekce požáru a blokování, systém ochrany proti výbuchu
- systém automatického čištění
- systém klimatizace vzduchu
- výstražná zařízení
- elektrická zařízení

Všechny tyto zařízení jsou umístěny v konstrukci zcela nebo částečně uzavřené (omezené stěnami, nazývané prostor) pro řízené nanášení organických práškových nátěrových hmot pomocí stříkání. [3]

#### **3.3 Proces elektrostatického nanášení práškových barev**

Proces elektrostatického nanášení práškové barvy je založen na fyzikálním principu, že se opačně nabitě částice přitahují. Mezi práškovou barvou a lakovaným předmětem se vytvoří elektrické pole a částčky barvy snadněji přilnou k uzemněnému lakovanému předmětu, neboť došlo k nabití prášku a lakovaného předmětu protikladnými náboji. Po nanesení práškové barvy následuje vypálení výrobku ve vypalovací peci, kde se při teplotě 160 - 200°C barva roztaví a dojde k jejímu vytvrzení.

Fluidizované práškové barvy se přivádějí ke stříkáckým pistolím. Fluidizace se provádí v práškových centrech, kde je sací systém ponořen do zásobníku s přidáním

vzduchu do práškové barvy. Fluidizovaný prášek se přivádí sacím systémem do injektorů a nakonec do stříkacích pistolí prostřednictvím fluidizačního vzduchu. Množství prášku proudícího do pistole lze zvýšit přidáním dávkovacího vzduchu a tím se zrychlí tok prášku.

Částičky prášku jsou v práškovací pistolí nabíjeny elektrostaticky nebo triboelektricky vysokým napětím desítek kilovolt a jsou aplikovány ve formě oblaku na lakovaný předmět. Nabité částice práškové barvy v oblaku jsou přitahovány a usazují se na uzemněném výrobku, přitom se při aplikaci značné množství prášku na tento výrobek nepřichytí. Přestřík, který se nepřichytil, je odsáván a podle toho jestli se jedná o kabinu s otevřeným nebo uzavřeným odlučovacím systémem, je odváděn buď do odlučovače nebo do cyklonu.

U uzavřeného systému je tento přestřík odsáván a odvádí se odsávacím potrubím do cyklonu. V cyklonu je prostřednictvím vysoké rotace oddělen vzduch od prášku. Rotací se dostávají prachové částice působením odstředivých sil na stěny cyklonu a prášek klouže po stěně cyklonu do třídícího zařízení - síta, kde jsou zadrženy hrubé nečistoty. Pomocí dopravníku je recyklovaný prášek dopraven zpět do kontejneru v práškovém centru. Na konci procesu je výstupní vzduch dočištěn od zbytků prášku, který byl v nepatrném množství odsán do koncového filtru.

V případě otevřeného systému je přestřík odsáván do odlučovače, který tvoří filtrační patrony, které jsou umístěny přímo v prostoru práškové lakovací kabiny (systém integrovaných kabin). Odloučený prášek je tlakovým vzduchem z filtračních patron postupně odstraňován a padá na dno filtračního prostoru, které je tvořeno kovovým sítem s vibrátorem. Pod sítem se prášková barva shromažďuje a plynule dopravuje zpět do zásobníku prášku. Odsávaný vzduch z prostoru za filtračními patronami je veden přes výstupní filtry zpět do prostoru výrobní haly.

Prášek se nanáší na povrch předmětu, který je předeheřtý, nebo se následně vytvrzuje v peci. Aby prášek ulpěl na výrobku, dokud se nevytvdí v peci, je v aplikačním zařízení nabíjen. Elektrostatická energie využívá fyzikálního jevu, že se opačně nabitě částice přitahují. K nabití prášku jsou využívány dva základní způsoby – Korona a Tribo.

#### 4. Popis zkoumaných vzorků barev a provedených zkoušek

Pro účely zjišťování vybraných požárně technických charakteristik byly použity vzorky barev firmy Jotun podle kritérií:

- nejpoužívanější barva
- nejjemnější barva
- barva s největší zrnitostí
- barva, u které výrobce předpokládá, že bude nejvýbušnější
- zastoupení barev podle druhu (na základě chemického složení)

Bylo vybráno 7 vzorků barev, které jsou zvoleny tak, aby byla zastoupena barva nejpoužívanější, s nejmenší a největší zrnitostí a barva s příměsí kovu, u které se předpokládá, že bude nejvýbušnější.

Pro naplnění cílů práce byly provedeny zkoušky vybraných požárně technických charakteristik, a sice byly změřeny minimální zápalná energie, dolní mez výbušnosti  $LEL$ , maximální výbuchový tlak  $p_{\max}$  a maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{\max}$  rozvířeného prachu pro stanovení konstanty výbušnosti  $K_{st}$ . Bylo provedeno také stanovení střední velikosti zrna a základní chemický rozbor, které jsou požadovány zkušebními normami při stanovení dalších požárně technických parametrů a tyto údaje musí být uvedeny v protokolu o zkoušce.

## 5. Výsledky zkoušek

Všechny uvedené zkoušky byly provedeny v akreditované zkušební laboratoři VVUÚ, a.s. v Ostravě - Radvanicích podle normalizovaných postupů. Vzorky všech barev byly pro zkoušky použity v původním stavu, v jakém se používají v lakovacích kabinách při nanášení práškových barev.

### 5.1 Sítová analýza (střední velikost zrna)

Slouží k stanovení velikosti zrn prachu. Měřením bylo zjištěno, že střední velikost zrna původního vzorku je ve většině případů  $< 0,040$  mm, přičemž podle údajů výrobce barvy je u nejjemnějšího vzorku střední velikost zrna jen 0,028468 mm. Pro potřeby měření se udává střední velikost zrna, je-li větší než 0,040 mm, v opačném případě se udává, že velikost je  $< 0,040$  mm. V Tab. 1 jsou znázorněny výsledky měření a údaje výrobce.

Tab. 1 Naměřené hodnoty sítové analýzy a hodnoty udávané výrobcem

| označení barvy | druh barvy           | střední velikost zrna<br>naměřená<br>(mm) | střední velikost zrna dle<br>výrobce<br>(mm) |
|----------------|----------------------|---|--|
| 1011810        | epoxy-polyesterová   | $< 0,040$                                 | 0,032 480                                    |
| 1012616        | epoxy-polyesterová   | $< 0,040$                                 | 0,028 864                                    |
| 1012521        | epoxidová            | $< 0,040$                                 | 0,028 468                                    |
| 1013367        | polyesterová fasádní | $< 0,040$                                 | 0,038 086                                    |
| 1028415        | epoxy-polyesterová   | $< 0,040$                                 | 0,034 083                                    |
| 1027056        | polyesterová fasádní | $< 0,040$                                 | 0,032 046                                    |
| 1027230        | epoxy-polyesterová   | $0,046 \pm 0,01$                          | 0,041 647                                    |

### 5.2 Základní chemický rozbor

Při této zkoušce bylo provedeno stanovení obsahu vody, popele a prchavé hořlaviny.

Chemické složení látky má vliv na její výhřevnost, spalnou teplotu, množství spalovacího vzduchu a dále i na způsob a průběh spalování. U tuhých látek se používá základní chemický rozbor, při němž se kromě obsahu vlhkosti a popela stanoví ještě obsah prchavé hořlaviny, tj. podíl, který prchá při zahřívání paliva v kelímku bez přístupu vzduchu. Do obsahu prchavé hořlaviny se nepočítá voda, která při kelímkové zkoušce rovněž prchá.

Výsledky základního chemického rozboru jsou shrnuty v následující tabulce (Tab. 2).

Tab. 2 Výsledky stanovení základního chemického rozboru

| označení barvy | druh barvy           | voda<br>W <sup>a</sup><br>% | popel<br>A<br>% | prchavá hořlavina<br>V <sup>a</sup><br>% | neprchavý uhlík<br>C <sub>f</sub><br>% |
|----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|--|--|
| 1011810        | epoxy-polyesterová   | 0,1                         | 40,6            | 54,3                                     | 5,0                                    |
| 1012616        | epoxy-polyesterová   | 0,2                         | 2,9             | 85,2                                     | 11,7                                   |
| 1012521        | epoxidová            | 0,3                         | 16,7            | 80                                       | 3,0                                    |
| 1013367        | polyesterová fasádní | 0,9                         | 12,1            | 83                                       | 4,0                                    |
| 1028415        | epoxy-polyesterová   | 0,2                         | 38,2            | 57,6                                     | 4,0                                    |
| 1027056        | polyesterová fasádní | 0,4                         | 40,7            | 59,3                                     | -0,4                                   |
| 1027230        | epoxy-polyesterová   | 0,8                         | 30,1            | 62                                       | 7,1                                    |

### 5.3 Minimální zápalná energie

Znalost hodnot této veličiny je důležitá pro posuzování potenciálního nebezpečí iniciace hořlavých a výbušných prachových směsí elektrostatickými a indukovanými výboji. Slouží pro vyloučení iniciačních zdrojů v rámci hodnocení rizik podle Nařízení vlády č. 406/2004 Sb. Výsledné hodnoty jsou shrnuty do Tab. 3. Z těchto naměřených hodnot je patrné, že minimální iniciační energie zkoumaných vzorků barev je v rozmezí 8 – 26 mJ. Při porovnání těchto hodnot s velikostí hodnoty energie ve výboji v jednotlivých typech elektrostatických stříkacích systémů může vzniknout menší energie ve výboji pouze u typu A-P. U dalších dvou typů stříkacích systémů B-P a C-P existuje nebezpečí zápalných výbojů během procesu nanášení barvy na výrobek.

Tab. 3 Výsledky měření MIE

| označení barvy | druh barvy           | MIE<br>(rozsah)<br>mJ | MIE<br>(L=1 mH)<br>mJ |
|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1011810        | epoxy-polyesterová   | 10 mJ < MIE < 30 mJ   | 17                    |
| 1012616        | epoxy-polyesterová   | 3 mJ < MIE < 10 mJ    | 8                     |
| 1012521        | epoxidová            | 3 mJ < MIE < 10 mJ    | 7                     |
| 1013367        | polyesterová fasádní | 3 mJ < MIE < 10 mJ    | 9                     |
| 1028415        | epoxy-polyesterová   | 10 mJ < MIE < 30 mJ   | 13                    |
| 1027056        | polyesterová fasádní | 10 mJ < MIE < 30 mJ   | 26                    |
| 1027230        | epoxy-polyesterová   | 10 mJ < MIE < 30 mJ   | 21                    |

Při vyhodnocení výsledků citlivosti vzorků k elektrostatické iniciaci podle INERIS je patrné, že všechny zkoumané vzorky barev patří mezi **vzorky velmi citlivé k elektrostatické iniciaci**.

#### 5.4 Maximální výbuchový tlak $p_{\max}$ , maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku $(dp/dt)_{\max}$ rozvířeného prachu, konstanta výbušnosti $K_{St}$

Maximální výbuchový tlak je závislý na objemu a koncentraci, a proto byla stanovena pro každou látku konstanta, která rychlost nárůstu tlaku popisuje za konstantních podmínek v objemu  $1 \text{ m}^3$ . Konstanta  $K_{St}$  je tudíž nejdůležitější veličina pro určení razance výbuchu, protože poskytuje informaci o předpokládaném průběhu výbuchu, což je důležitý údaj pro konstrukci ochranných systémů. Nejdůležitější není, jakého maximálního tlaku může daný materiál dosáhnout, ale jak rychle jej dosáhne.

Z provedených měření vyplývá, že nejvyšší rychlost narůstání výbuchového tlaku a nejvyšší hodnotu  $K_{St}$  má vzorek 1012616, což je metalická epoxy-polyesterová barva, a jen nepatrně nižší jsou tyto veličiny u vzorku 1012521 – epoxidová barva, která je nejjemnější ze zkoumaných vzorků - střední velikost zrna =  $28,468 \mu\text{m}$ . Epoxy-polyesterová barva má střední velikost zrna jen nepatrně větší  $28,864 \mu\text{m}$ . Předpoklad výrobce, že metalická barva je nejvýbušnější, se potvrdil. Výsledky měření  $p_{\max}$  a  $(dp/dt)_{\max}$  jsou přehledně shrnuty se stanovením  $K_{St}$  a určením třídy výbušnosti v Tab. 4.

Tab. 4 Výsledné hodnoty  $p_{\max}$ ,  $(dp/dt)_{\max}$ ,  $K_{St}$  a stanovení třídy výbušnosti

| označení barvy | druh barvy           | $p_{\max}$<br>bar | $(dp/dt)_{\max}$<br>bar/s | $K_{\max}$<br>m·bar/s | Třída<br>výbušnosti |
|----------------|----------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1011810        | epoxy-polyesterová   | 5,6               | 265                       | 72                    | St 1                |
| 1012616        | epoxy-polyesterová   | 6,5               | 651                       | 177                   | St 1                |
| 1012521        | epoxidová            | 7,1               | 637                       | 173                   | St 1                |
| 1013367        | polyesterová fasádní | 6,2               | 497                       | 135                   | St 1                |
| 1028415        | epoxy-polyesterová   | 5,9               | 427                       | 116                   | St 1                |
| 1027056        | polyesterová fasádní | 6,3               | 396                       | 107                   | St 1                |
| 1027230        | epoxy-polyesterová   | 6,7               | 443                       | 120                   | St 1                |

#### 5.5 Dolní mez výbušnosti $LEL$

Jako dolní mez výbušnosti je označována nejnižší koncentrace směsi hořlavého prachu se vzduchem, při které je tato směs již výbušná. Tato veličina je důležitá při stanovení prostředí podle ČSN 33 2000-1 ed. 2 a ČSN EN 60079-0 ed. 4 a následně pak k provedení ochranných opatření před nebezpečím výbuchu u posuzovaných zařízení. Pokud je provedená zkouška pozitivní, tak je nutné se u daného zařízení zabývat protivýbuchovou prevencí.

U zkoumaných vzorků vyšla dolní mez výbušnosti v rozmezí  $10 - 80 \text{ g/m}^3$ . Výsledky zkoušek měření  $LEL$  jsou přehledně shrnuty v Tab. 5.

Tab. 5 Výsledné hodnoty LEL

| označení barvy | druh barvy           | LEL<br>g/m <sup>3</sup> |
|----------------|----------------------|-------------------------|
| 1011810        | epoxy-polyesterová   | 60                      |
| 1012616        | epoxy-polyesterová   | 40                      |
| 1012521        | epoxidová            | 20                      |
| 1013367        | polyesterová fasádní | 30                      |
| 1028415        | epoxy-polyesterová   | 30                      |
| 1027056        | polyesterová fasádní | 10                      |
| 1027230        | epoxy-polyesterová   | 80                      |



## 6. Porovnání naměřených hodnot s hodnotami používanými v praxi

Podle ČSN EN 1127-1 ed.2 je třeba identifikovat nebezpečné látky v technologickém procesu a stanovit pravděpodobnost vzniku nebezpečné výbušné atmosféry. Podle zákona č. 133/1985 Sb. mají provozovatelé činnosti se zvýšeným a vysokým požárním nebezpečím povinnost mít k dispozici požárně technické a výbuchové charakteristiky látek vyskytujících se v technologickém procesu.

Situace je však taková, že v provozovnách práškových lakoven tyto PTCH k dispozici nejsou, v lepším případě jsou nepřesné nebo nejsou všechny. Všichni dotazovaní provozovatelé se odvolali na bezpečnostní listy, které mají k dispozici. Vzhledem k povaze práškových barev se na většinu z nich nevztahuje povinnost mít k dispozici bezpečnostní listy. V žádné z dotazovaných lakoven nebyly k dispozici požárně technické a výbuchové charakteristiky používaných barev v podobě dokumentu. Po prostudování bezpečnostních listů několika výrobců práškových barev jsem zjistila, že tyto údaje jsou zcela nevyhovující. Mnohé požárně technické a výbuchové charakteristiky nejsou uvedeny vůbec, případně jsou ve velice širokém rozsahu, nebo mají zcela nereálnou hodnotu, případně jsou pro všechny typy barev naprosto identické. Měřením jsme se však mohli přesvědčit, že se hodnoty PTCH různých barev stejného výrobce liší.

Z uvedených srovnání je patrné, že hodnoty výbuchových charakteristik se liší, takže není možné použít údaj změřený pro jeden typ barvy pro všechny barvy, nebo použít do bezpečnostního listu údaj z odborné literatury pro určitý typ barvy.

Z naměřených hodnot je patrné, že se hodnoty PTCH i u stejného typu barev značně liší.

Absence PTCH, případně jejich nepřesné uvádění nebo uvádění jedné hodnoty pro všechny barvy různého chemického složení nebo zrnitosti mohou vést k ohrožení bezpečnosti během procesu lakování. Takovýmto případem je vzorek barvy 1027056 (polyesterová barva), u kterého byla naměřena hodnota **LEL** 10 g/m<sup>3</sup>. V případě, že je stanoveno, že průměrná koncentrace v kabině má být nuceným větráním udržována pod 50 % **LEL**, by tato koncentrace měla být udržována pod 5 g/m<sup>3</sup>. Stejná norma uvádí, že pokud hodnota **LEL** není známa, neměla by koncentrace překročit 10 g/m<sup>3</sup>, což je ale více, než je 50 % hodnoty stanovené měřením, a to znamená, že se vyskytuje reálné nebezpečí výbuchu. Z tohoto příkladu je patrné, že znalost PTCH je důležitým předpokladem pro zajištění bezpečnosti z hlediska nebezpečí výbuchu. S tímto konkrétním případem souvisí správné určení prostředí, což je pro prostor lakovací kabiny zóna 22, a to by potom pro uvedený případ už neplatilo. V kabině by potom byla během nanášení barvy trvale výbušná atmosféra, což ovšem znamená, že by se jednalo o zónu 20. Toto je však pro nebezpečný provoz práškových lakovacích kabin zcela nepřijatelné!

## **7. Metodika pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách**

Vzhledem k neustálému pokroku v rozvoji výrobních technologií a používaných materiálů je třeba při každé změně technologie provádět analýzu rizik provozovaných zařízení za účelem dodržení dostatečné úrovně bezpečnosti provozovaných zařízení. Navrhovaná metodika je založena na výsledcích zjištěných experimentálními měřeními potřebných PTCH. Jelikož některé výsledky měření neodpovídají normativním požadavkům, na které odkazuje platná legislativa, je metodika koncipována i s ohledem na tato zjištění.

Pro případ výbuchu musí lakovací kabiny vyhovovat ustanovením zvláštních směrnic, a to především Směrnice 94/9/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 23. března 1994 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu.

Povinností výrobce je:

- zabránit vytváření výbušného prostředí, které by mohlo vznikat v samotných zařízeních nebo ochranných systémech nebo se z nich šířit,
- zabránit vznícení výbušného prostředí se zřetelem k vlastnostem všech elektrických a neelektrických zdrojů vznícení,
- pokud nelze zabránit výbuchu, musí být výbuch okamžitě potlačen a omezen rozsah účinku výbuchových plamenů a výbuchového tlaku na dostatečnou úroveň bezpečnosti.

Zařízení a ochranné systémy musí být navrhovány a vyráběny po náležité analýze možných provozních poruch tak, aby byly pokud možno vyloučeny nebezpečné situace. Je nutno brát v úvahu i jakékoli důvodně předvídatelné nesprávné použití.

Navržená metodika slouží jako účinný nástroj pro hodnocení rizik. Účelem a cílem řízení rizik je jejich snížení na přijatelnou úroveň. Je třeba identifikovat nebezpečí a toto nebezpečí eliminovat, nebo alespoň kontrolovat. Pokud není možné eliminovat zdroj nebezpečí, musí být stanovena ochrana před tímto nebezpečím nebo minimalizován jeho vznik zabudováním příslušných ochranných opatření nebo stanovením limitních podmínek provozu daného zařízení. Jako další bezpečnostní opatření se použijí zařízení, která zvládnou nebezpečí a zmírní jeho účinky.

Pro identifikaci nebezpečí a posuzování rizik existuje celá řada metod. Pro tuto metodiku byla vybrána jako nejvhodnější metoda „Kontrolní seznam“ (Checklist). Je to vlastně soubor položek nebo procedurálních kroků, které slouží k ověření stavu prověřovaného systému. Tyto seznamy jsou velice podrobné a jsou sestaveny tak, aby bylo možno posoudit shodu stavu posuzovaného systému s předpisem nebo normou. Pro vytvoření kontrolního seznamu byly definovány požadavky norem. Z těchto požadavků byl vytvořen soubor dotazů na nedostatky a rozdíly proti standardu, s možností odpovědi ano nebo ne.

Podle ČSN EN 50177 ed. 3 i ČSN EN 50050-2 může dojít k výbuchu práškové barvy, jestliže je:

- koncentrace hořlavé práškové nátěrové hmoty ve vzduchu v mezích výbušnosti,
- k dispozici iniciační zdroj, který má dostatečnou energii, aby vznítil rozvířenou práškovou barvu.

Zabránění výbuchu je možné, pokud je vyloučena alespoň jedna z uvedených podmínek, nejlépe však obě.

Směs hořlavých práškových barev se vzduchem může vybuchnout pouze v rozsahu výbušnosti, nad dolní mezí výbušnosti. To znamená, že výbuch nemůže nastat, jestliže je koncentrace práškové barvy v kabině pod touto mezí. Prášková nátěrová hmota není uvnitř lakovací kabiny rovnoměrně rozptýlena, proto může nastat situace, že část této směsi bude spadat do rozsahu výbušné koncentrace. Horní mez výbušnosti není proto z hlediska bezpečnosti vhodné použít. ***Prvním zásadním krokem k zajištění prevence výbuchu je vyloučení výbušné koncentrace práškové nátěrové hmoty ve vzduchu.***

Aby se zabránilo vzniku nebezpečí výbuchu od výbušné atmosféry použité práškové barvy, tak musí být vyloučeny všechny zdroje iniciace od elektrických i neelektrických zařízení všude tam, kde je prostor zařazen jako nebezpečný výbuchem.

Iniciačním zdrojem může být horký povrch, otevřený oheň, elektrický oblouk nebo jiskra. Během nanášení práškové barvy mohou vznikat nebezpečné elektrostatické výboje, například z neuzemněných vodivých částí nebo velkých izolovaných povrchů, především pokud jsou ve styku s vodivým materiálem. Elektrický výboj může vzniknout vlivem špatného uzemnění při vadném pospojování se systémem ochranného uzemnění, nebo když je odpor uzemnění příliš vysoký. Elektrostatická vysokonapěťová zařízení mohou způsobit nebezpečné selhání v elektronických bezpečnostních obvodech, ochranách na vstupech, výstražné jednotce ovlivněním konstrukčních prvků ovládacích a bezpečnostních systémů.

Některé iniciační zdroje musí být vyloučeny organizačními a technickými opatřeními.

Nebezpečí zápalného výboje existuje i v samotném elektrostatickém stříkacím systému. Tam může pro danou práškovou barvu vzniknout účinný iniciační zdroj, pokud bude platit, že energie iniciačního zdroje je větší, než minimální iniciační energie práškové barvy:

$$\text{energie ve výboji} \geq MIE \quad (17)$$

Možnost vzniku zápalných výbojů od samotného elektrostatického stříkacího systému je dána použitím jeho typu (A-P, B-P, C-P).

## 7.1 Postup pro vyhodnocování přítomnosti rizik

Lakovací kabiny musejí odpovídat platným legislativním požadavkům. Ne však každá provozovaná lakovací kabina tyto požadavky splňuje a proto je třeba vyhodnotit existenci rizik a s ohledem na vyhodnocená rizika je třeba přijmout opatření k zabránění výbuchu podle příslušných legislativních požadavků.

Nejprve je třeba vložit vstupní údaje:

- rychlost proudění vzduchu
- plocha otvorů
- maximální množství stříkané barvy
- **LEL** nanášené barvy.

Poté se zodpovídají jednotlivé dotazy, které vycházejí z platných normativních požadavků a podle odpovědí se vyhodnotí, jestli se vyskytuje nějaké riziko vedoucí k možnosti vzniku výbuchu. Pokud bude na základě odpovědí stanoveno riziko, bude

zároveň proveden návrh na odstranění tohoto rizika. Po zodpovězení všech dotazů bude přehledně zpracován soupis rizik s návrhem na jejich odstranění. Výstupem hodnocení bude soupis rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách včetně návrhu opatření pro snížení míry rizika. Podle zpracované metodiky mohou výrobci lakovacích kabin, jejich provozovatelé, stejně jako pracovníci inspektorátu BP, pojišťoven nebo požární preventisté HZS zjistit stav a úroveň bezpečnosti těchto zařízení za účelem jednoznačného definování výskytu výbušné atmosféry a iniciačních zdrojů, pro určení ochranných opatření pro případ výbuchu.

## **7.2 Software pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách**

Program pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách byl vytvořen v jazyce C# v prostředí MS Visual Studio 2013 a je kompatibilní s Windows 7 (32 i 64 bitů). Tento program dále vyžaduje SQL databáze (viz příloha G) a MS.NET 4.5.1 a vyšší.

Program obsahuje databázi otázek (viz Příloha E), na základě kterých se vytvoří seznam rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu. Pokud dané riziko existuje, tak se zároveň zobrazí i návrh na odstranění tohoto rizika. Po zodpovězení všech otázek lze výsledný soubor uložit do PDF jako protokol stanovených rizik, který bude možno vytisknout. Program je koncipován jako dotazník, kde většina otázek je typu (ANO/NE), ale je možné také zadat hodnoty, podle kterých je možné dopočítat parametry, které se následně vyhodnotí. Otázky je možné používat jako nezávislé, závislé na libovolné jiné otázce, anebo vytvářet skupiny otázek, ze kterých je možné vybírat podle vstupních údajů. Pokud se na některé otázky nebude odpovídat s ohledem na odpověď na předchozí otázku, stanou se neaktivními a nebude možno na ně odpovídat. Ve výsledném PDF souboru budou pro přehlednost vypsány pouze položky, u kterých bylo zaznamenáno riziko. Pokud budou odpovědi takové, že u žádné položky nebude existovat riziko, bude ve výsledném formátu PDF napsáno, že neexistuje žádné riziko nebezpečí výbuchu. Počítačový program pro stanovení rizik je přiložen v Příloze G.

## **7.3 Ověření metodiky**

Ověření vytvořené metodiky bylo provedeno na automatické elektrostatické práškové lakovací kabině firmy INTEC umístěné ve firmě Arcelor Mittal Tubular Products Ostrava a.s.

Jedná se o práškovou kabina k automatickému nanášení práškových plastů v elektrickém poli – typ „B“. Odlučovací systém je integrován do prostoru stříkací kabiny s mechanickým oddělením děrovaným plechem. Kabina je tvořena kovovou skříní s otvory pro vstup a výstup výrobků. Odlučovač je tvořen 5 filtračními patronami, které jsou umístěny přímo v prostoru práškové kabiny.

Lakovací kabina je vybavena lokálním hašením, které je tvořeno zařízením pro likvidaci lokálního zahoření v paprsku práškové barvy tryskající z pistole, které zjistí optické čidlo, umístěné ve stříkací kabině. U řídicího pultu stříkací kabiny je umístěna řídicí jednotka, která vyhodnocuje vstupní informace čidel a uvádí do činnosti hasící zařízení, které v krátké době vypustí do prostoru stříkací pistole takové množství oxidu uhličitého, které uhasí plamen. V případě déle trvajícího plamene v kabině se jednorázově vyprázdní láhev, která je nainstalovaná pro případ zahoření ve filtru. Množství hasícího média je neustále kontrolováno vážením tlakových láhví oxidu uhličitého. Stejně tak jsou

kontrolovány i jiné možné poruchy zařízení. Řídící jednotka je schopná v případě poruchy nebo nedodržení provozních podmínek proces nanášení barvy okamžitě vypnout.

Při prověření metodiky na této kabině nebyly zjištěny žádné rizika ve vztahu k nebezpečí výbuchu.

## **Závěr**

Disertační práce se věnovala problematice výbušnosti práškových barev v lakovacích kabinách. Nejprve bylo nutné vymezit právní rámec této problematiky. Poté byla zmapována situace v lakovnách. Spolehlivé hodnoty PTCH v požadovaném rozsahu nejsou k dispozici v žádné z prověřovaných provozoven. Z průzkumu bezpečnostních listů, na které se zainteresovaní pracovníci ve všech provozovnách odvolávali, je patrné, že z údajů zde uvedených nelze při stanovování bezpečnostních opatření vycházet. Hodnoty PTCH byly navíc ověřeny také experimentálním měřením v akreditované zkušební laboratoři. Náklady na tato měření představují částku cca 280000Kč, z toho přímé náklady na měření cca 35000 Kč za iniciace. Náklady byly hrazeny z SGS číslo SP2013/28 pod názvem Výbušnost práškových barev v lakovacích kabinách částkou 22500 Kč a na zbytku nákladů se podílel VVUÚ na základě Rámcové smlouvy o dlouhodobé spolupráci mezi VŠB-TUO a VVUÚ v oblasti výzkumu a vývoje bezpečnostních prvků požárních a výbuchových systémů v průmyslu.

Jako poslední část práce byla vytvořena metodika pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách pro efektivnější řízení rizik s návrhem na nápravná opatření. Tato metodika představuje účinný nástroj pro zajištění bezpečnosti při práci.

Metodika byla ověřena na automatické elektrostatické práškové lakovací kabině firmy INTEC umístěné ve firmě ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a.s.

Přínosy práce lze rozdělit do tří oblastí:

### ***Přínos pro vědu***

Přínosem této disertační práce pro vědu je vytvoření nástroje pro řízení rizik, který umožní kvalifikovanější hodnocení rizik.

### ***Přínos pro praxi***

Přínosem pro praxi je navržená metodika jako nástroj pro hodnocení rizik. Podle zpracované metodiky mohou výrobci lakovacích kabin, jejich provozovatelé, stejně jako pracovníci inspektorátu BP, pojišťoven nebo požární preventisté HZS zjistit stav a úroveň bezpečnosti těchto zařízení za účelem jednoznačného definování výbušné atmosféry a iniciačních zdrojů a prokázání nutnosti zabývat se protivýbuchovou prevencí.

Stanovení parametrů PTCH práškových barev měřením bylo provedeno za účelem jednoznačného definování prostorů s nebezpečím výbuchu.

### ***Přínos pro obor***

Přínosem pro obor bezpečnostního inženýrství je návrh metodiky pro stanovení rizik ve vztahu k nebezpečí výbuchu práškových barev v lakovacích kabinách za účelem zvýšení bezpečnosti při jejich provozování a software, který se používá při stanovování těchto rizik.

K naplnění cílů vedlo několik kroků:

Prostudování legislativních požadavků a vyhodnocení stavu jejich dodržování v provozovnách práškových lakoven

Změření vybraných výbuchových charakteristik vzorků práškových barev různé zrnitosti a chemického složení a porovnání s hodnotami, které mají jednotlivá pracoviště

k dispozici, za účelem zhodnocení možnosti vzniku nebo vyloučení výbušné atmosféry v práškových lakovacích kabinách

Na základě těchto poznatků jsou vypracovány kontrolní listy v podobě počítačového programu, které budou sloužit jako podklad pro prevenci výbuchu v provozovaném zařízení

Tato disertační práce má za cíl svým zaměřením přispět ke zvýšení úrovně bezpečnosti v lakovnách. Nezapomeňme ale, že bezpečnost lze definovat jako přijatelnou úroveň rizika a nikoliv stav „bez rizika“.

## Použitá literatura

- [1] Vyhláška Ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci) ze dne 29. 06. 2001
- [2] ČSN EN 1127-1 ed. 2 *Výbušná prostředí – Prevence a ochrana proti výbuchu – Část 1: Základní koncepce a metodika*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012
- [3] ČSN EN 12981+A1 *Lakovny – Stříkací kabiny pro nanášení organických práškových nátěrových hmot – Bezpečnostní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009
- [4] ČSN EN 50050-2 *Elektrostatické ruční stříkací zařízení – Bezpečnostní požadavky – Část 2: Ruční stříkací zařízení pro hořlavé práškové nátěrové hmoty*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2014
- [5] Směrnice Rady 94/9/ES z 23. března 1994, o sbližování předpisů členských států týkajících se zařízení a ochranných systémů určených pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu
- [6] NAŘÍZENÍ VLÁDY 23/2003 Sb. ze dne 9. prosince 2002, kterým se stanoví technické požadavky na zařízení a ochranné systémy určené pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu
- [7] ČSN EN 14034-3+A1 *Stanovení výbuchových charakteristik rozvířeného prachu – Část 3: Stanovení dolní meze výbušnosti LEL rozvířeného prachu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011
- [8] ČSN EN 50177 ed. 3 *Stabilní elektrostatické zařízení pro nanášení hořlavých práškových nátěrových hmot – Bezpečnostní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010
- [9] ČSN EN 50223 *Stabilní elektrostatické zařízení pro nanášení hořlavých vložek – Bezpečnostní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010
- [10] ČSN EN 1953 *Rozprašovací a stříkací zařízení pro nátěrové hmoty – Bezpečnostní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2014
- [11] ČSN EN ISO 4618 *Nátěrové hmoty - Termíny a definice*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2015
- [12] ČSN EN 50050 ed. 2 *Elektrická zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu – Elektrostatické ruční stříkací zařízení*, Český normalizační institut, Praha, 2007
- [13] Štroch P., *Procesy hoření a výbuchu*, EDIS – Žilina, 2010, ISBN 978-80-554-0187-4
- [14] Nařízení vlády 176/2008 Sb. ze dne 21. dubna 2008 o technických požadavcích na strojní zařízení
- [15] Nařízení vlády č. 406/2004 Sb. „o bližších požadavcích na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu“
- [16] Zákon č. 133/1985 Sb. O požární ochraně, v platném znění
- [17] Vyhláška Ministerstva vnitra č. 221/2014 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)
- [18] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/104/ES ze dne 16. září 2009 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání pracovního zařízení zaměstnanci při práci (druhá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS)



- [19] Zákon č. 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů (zákon o obecné bezpečnosti výrobků) ze dne 22. 2. 2001
- [20] Zákon č. 22/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů
- [21] *Problematika uvádění technických norem v právních předpisech*, [cit. 15. 3. 2013], dostupné z: <<http://www.unmz.cz/urad/problematika-uvadeni-technickyh-norem-v-pravnych-predpisech>>
- [22] ČSN EN ISO 13849 – 2 *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 2: Ověřování platnosti*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2013
- [23] ČSN EN ISO 12100 *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011
- [24] ÚNMZ, [cit. 7. 3. 2013], dostupné z: <[http://www.sgpstandard.cz/editor/unmz/?u=tech\\_poz/tech\\_poz/cr/pp\\_cr/stroje/hn\\_176\\_2008/hn\\_176\\_2008.htm](http://www.sgpstandard.cz/editor/unmz/?u=tech_poz/tech_poz/cr/pp_cr/stroje/hn_176_2008/hn_176_2008.htm)>
- [25] Bartknecht, W. *Staubexplosionen Ablauf und Schutzmassnahmen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1987, ISBN 3-540-16243-7
- [26] Bartknecht, W. *Explosionsschutz Grundlagen und Anwendung*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993, ISBN 3-540-55464-5
- [27] Kolektiv autorů. *Koncepce řešení protivýbuchové prevence v podmínkách průmyslových provozů*, SPBI v Ostravě, 2012, 1. vydání, ISBN 978-80-7385-120-0
- [28] *Výbuch hořlavých prachů*, [cit. 17.6.2013], dostupné z: <<http://www.vst.cz/CZE/informace/prubeh-vybuchu.htm>> 10.10.2012>
- [29] Štroch, *Riziko výbuchu prašných směsí a možnosti prevence*, ISBN 978-80-7362-515-3
- [30] Rempe, A. Rodewald G. *Brandlehre*, Verlag W. Kohlhammer GmbH, 1985, ISBN 3-17-008381-3
- [31] BURIAN, S.: *Výbušnost hořlavých prachů*, [cit. 7.3.2013], dostupné z: <<http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1585&h=120>>, 10.10.2012>
- [32] *Wagner*, [cit. 7.13.2013], dostupné z: <[https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-group-produkty/prumysl-praskove-lakovani-technologie/praskove-kabiny/praskove-kabiny\\_53ac6e6c9b0cd.html](https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-group-produkty/prumysl-praskove-lakovani-technologie/praskove-kabiny/praskove-kabiny_53ac6e6c9b0cd.html)>
- [33] *Oběh práškové barvy při aplikaci*, [cit. 5.1.2013], dostupné z: <[http://www.wagner.cz/index.php?option=com\\_virtuemart&page=shop.browse&category\\_id=102&Itemid=103](http://www.wagner.cz/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=102&Itemid=103)>
- [34] *Nordson*, [cit. 8.3.2013], dostupné z: <[http://www.nordson.cz/NR/rdonlyres/2CC9DAC6-E91F-4092-99F6-E15CB4C07937/0/CARTRIDGE\\_Booths\\_English.pdf](http://www.nordson.cz/NR/rdonlyres/2CC9DAC6-E91F-4092-99F6-E15CB4C07937/0/CARTRIDGE_Booths_English.pdf)>
- [35] *Princip práškového lakování*, [cit. 10.1.2014], dostupné z: <<http://www.technolak.cz/technologie.html>>
- [36] ČSN EN 13463-1 *Neelektrická zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu – Část 1: Základní metody a požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009
- [37] Směrnice evropského parlamentu a rady 94/9/ES ze dne 23. Března 1994 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu

- [38] ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012
- [39] ČSN 44 1377 *Tuhá paliva – Stanovení obsahu vody*, Český normalizační institut, Praha, 2004
- [40] ČSN ISO 562 *Černá uhlí a koks – Stanovení prchavé hořlaviny*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011
- [41] ČSN ISO 1171 *Tuhá paliva – Stanovení popela*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011
- [42] ČSN EN 13821 *Prostředí s nebezpečím výbuchu – Prevence a ochrana proti výbuchu – Stanovení minimální zápalné energie směsi prachu se vzduchem*, Český normalizační institut, Praha, 2005, 20 stran
- [43] A. Janes, J. Chaineaux, D. Carson, P.A.LeLore: *MIKE 3 versus HARTMANN apparatus: Comparison of measured minimum ignitron energy (MIE)*, Journal of Hazardous Materials 152, 2008, str. 32–39
- [44] ČSN EN 14034-1+A1 *Stanovení výbuchových charakteristik rozvířeného prachu – Část 1: Stanovení maximálního výbuchového tlaku  $p_{max}$  rozvířeného prachu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011
- [45] ČSN EN 14034-2+A1 *Stanovení výbuchových charakteristik rozvířeného prachu – Část 2: Stanovení maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{max}$  rozvířeného prachu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011
- [46] ČSN EN 14034-3+A1 *Stanovení výbuchových charakteristik rozvířeného prachu – Část 3: Stanovení dolní meze výbušnosti LEL rozvířeného prachu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011, 24 stran
- [47] Cesana, Ch., Siwek, R.: *Manual 20-L-Apparatus*, 15. března 2012, Dostupné z: <[http://safety.kuhner.com/tl\\_files/kuhner/product/safety/PDF/B000\\_071.pdf](http://safety.kuhner.com/tl_files/kuhner/product/safety/PDF/B000_071.pdf)>
- [48] VDI 3673 *Druckentlastung von Staubexplosionen*, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 2002
- [49] ČSN 34 1382 *Zkoušení elektrostatických vlastností materiálů a výrobků*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1988
- [50] ČSN EN 1953 *Rozprašovací a stříkací zařízení pro nátěrové hmoty – Bezpečnostní požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, říjen 2014

## Seznam vlastních prací autorky vztahující se k tématu disertace

1. Veličková, E., Velička, R.: *Bezpečné elektrické rozvody v laboratořích*. Sborník přednášek Bezpečnost a ochrana zdraví 2007, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, str. 340-346, ISBN: 978-80-7385-004-3
2. Veličková, E.: *Kreslení strojírenských výkresů. Skriptum*, VŠB-TU Ostrava: Ostrava 2010, ISBN: 978-80-7385-084-5
3. Veličková, E.: *Zařízení pro dopravu a uskladnění tekutin. Skriptum*, VŠB-TU Ostrava: 2010, 68 str., ISBN: 978-80-7385-101-9
4. Veličková, E.: *Stroje a zařízení - Nauka o materiálu. Skriptum*, VŠB-TU Ostrava: 2011, 53 str., ISBN: 978-80-7385-101-9
5. Veličková, E., Velička, R.: *Aplikace elektrických odporových kabelů*, Sborník přednášek XI. Ročník mezinárodní konference Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2011, str. 237 – 245, ISBN 978-80-248-2424-6
6. Veličková, E.: *Stroje a zařízení - Části strojů. Skriptum*, VŠB-TU Ostrava: Ostrava 2012, 111 str.
7. Veličková, E., Velička, R.: *Zajištění bezpečnosti při provozu na pozemních komunikacích*, Sborník přednášek XII. Ročník mezinárodní konference Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2012, str. 174 – 179, ISBN 978-80-248-2670-7
8. KOLEKTIV AUTORŮ. *Koncepce řešení protivýbuchové prevence v podmínkách průmyslových provozů*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-7385-120-0
9. Veličková, E., Perďochová, M., Foldynová, V.: *Explosivity of Powdered Paints in Lacquering Cabins*. Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, Řada bezpečnostního inženýrství, VŠB - TU Ostrava, FBI, 2014, str. 49 – 55, ISBN 1801-1764
10. Veličková, E., Perďochová, M., Foldynová, V.: *Zajištění bezpečnosti při práci v práškových lakovnách*. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2014: sborník přednášek XIV. ročníku mezinárodní konference, Ostrava, VŠB - TU, 14. - 15. května 2014, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2014, str. 157 - 161, ISBN 978-80-7385-145-3
11. Veličková, E., Štroch, P., Velička, R.: *Práškové barvy a jejich hořlavost v procesu lakování*. Požární ochrana 2014: sborník přednášek XXIII. ročníku mezinárodní konference, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2014, str. 371 - 374, ISBN 978-80-7385-148-4
12. Velička R., Veličková E.: *Effect of Power Quality on Human Health and Safety*. Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, Řada bezpečnostního inženýrství, VŠB - TU Ostrava, FBI, 2014, str. 55 - 60, ISBN 1801-1764
13. Veličková, E., Štroch, P., Velička, R.: *Posuzování a snižování rizika při provozování strojních zařízení*. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2015 : sborník přednášek XV. ročníku mezinárodní konference, Rožnov pod Radhoštěm, VŠB - TU, 13. - 14. května 2015, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2015, ISBN 978-80-7385-162-0
14. Veličková, E.: *Zákonné povinnosti pro zajištění bezpečnosti lakovacích kabin z hlediska nebezpečí požáru nebo výbuchu*. Požární ochrana 2015 : sborník přednášek XIX. ročníku mezinárodní konference, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2015, ISBN 978-80-7385-163-7
15. Veličková, E., Štroch, P., Velička, R.: *Analysis of the normative requirements for ensuring the safety of powder coating booths in terms of the risk of explosion*. Sborník vědeckých prací VŠB - TUO, Řada bezpečnostního inženýrství, VŠB - TU Ostrava, FBI, 2015, str. 33 - 40, ISBN 1801-1764